

УДК 621.391.6:621.31

DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-1-53-57

Архипов С.Н.  
Кузнецов А.В.**ОПТИЧЕСКАЯ КОММУТАЦИЯ НА ОСНОВЕ ИЗМЕНЕНИЯ  
ПРОВОДИМОСТИ МАССИВА СВЕТОВОДОВ  
В УСТРОЙСТВАХ КОЛЛИМИРУЮЩЕГО ТИПА**

Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», ул. Приборостроительная, д. 35, г. Орёл, 302034, Россия

*e-mail: arhipovsernik@gmail.com, kvaa77@mail.ru*

**Аннотация**

Для реализации фотонной сети необходимо обеспечить наличие компонентов, включая и коммутационные системы, способных обрабатывать только оптические сигналы. Преобразование оптического сигнала в электрический и обратное преобразование допустимо только в источнике и приемнике. На сегодняшний день основной проблемой в создании полностью оптических сетей остается создание соответствующих оптических коммутаторов. В данной статье предложен подход, описывающий принцип коммутации оптических потоков на основе изменения проводимости массива световодов.

**Ключевые слова:** коммутация оптических потоков; массив световодов; проводимость световода; распределение мощности; амплитудно-фазовое распределение.

UDC 621.391.6:621.31

Arhipov S.N.  
Kuznetsov A.V.**OPTICAL COMMUTATION BASED ON THE CHANGE  
OF AN OPTICAL FIBER ARRAY CONDUCTIVITY  
IN COLLIMATE TYPE DEVICES**

Federal state military educational institution of higher professional education "Academy of the Federal security service of the Russian Federation", 35 Priborostroitel'naya St., Orel, 302034, Russia

*e-mail: arhipovsernik@gmail.com, kvaa77@mail.ru*

**Abstract**

To realize a photon network, functioning components and commutating systems capable of processing optical signals, are essential. The transformation of an optical signal into an electrical one as well as its reverse takes place in a signal source or its receiver. Up to the present, the main problem in constructing of all-optical networks is the lack of appropriate optical switchboards. The present work describes the way of optical flows commutation based on the changing of an optical fiber array conductivity.

**Keywords:** optical flow commutation; optical fiber array; conductivity of an optical fiber; power distribution; amplitude-phase distribution.

**ВВЕДЕНИЕ**

Научно-технический прогресс на рубеже XX–XXI веков способствовал революционным изменениям в области информатизации всех сторон жизни людей. Человечество пришло к осознанию того, что именно информационная сфера его деятельности сегодня определяет уровень социально-политического, экономического и культурного развития общества. В области государственного, военного и финансово-экономического управления информация стала таким же стратегическим ресурсом, как материалы и энергия. От эффективности организации процессов сбора, использования и защиты информации зависит жизнеспособность предприятий и организаций, корпораций и целых государств.

В России бурными темпами развиваются корпоративные и ведомственные информационные инфраструктуры. Постоянно повышаются требования по устойчивости и безопасности информационного обмена в них.

Способствуют построению современных высокопроизводительных телекоммуникационных систем успехи в области вычислительной техники и достижения оптических технологий передачи информации. С каждым новым поколением компьютеров совершенствуются возможности по обработке и представлению информации. Применение средств оптической связи способствует увеличению количества и качества предоставляемых инфокоммуникационных услуг.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Основным направлением реконструкции сетей связи является переход к технологии мультиплексирования по длине волны (*Wave Division Multiplexing, WDM*), которая обеспечивает мультиплексирование множества длин волн в одном волокне. Системы *WDM* и более совершенные *Dence WDM (DWDM)* увеличивают пропускную способность путем распределения входящих оптических сигналов по определенным длинам волн и последующего мультиплексирования этих сигналов в виде единого цифрового потока в одном волокне.

Внедрение технологии *DWDM* является важнейшим шагом на пути построения полностью оптических транспортных сетей, получивших название фотонных сетей. Фотонная сеть является сетью связи, в которой информация передается только в форме оптического сигнала.

Для реализации фотонной сети необходимо обеспечить наличие компонентов, включая и коммутационные системы, способных обрабатывать только оптические сигналы. Преобразование оптического сигнала в электрический и обратное преобразование допустимо только в источнике и приемнике. На сегодняшний день основной проблемой в создании полностью оптических сетей остается создание соответствующих оптических коммутаторов.

Прогрессом в этой области можно считать проект группы исследователей из лаборатории *Laboratoire Kastler Brossel-LKB* (Париж, Франция), которые 23 сентября 2016 года опубликовали работу [1], описывающую возможность создания «атомного зеркала» путем позиционирования холодных атомов цезия в оптоволокне. В экспериментальной установке ученые добились отражения 75% падающих фотонов от конструкции из 2000 атомов. Исходя из условий отражения Вульфа-Брегга, атомы были расположены в интерференционную конструкцию с помощью одномерных бозонных волноводов [2].

Воспользовавшись предлагаемой технологией фильтрации становится возможно описать пассивный элемент, обеспечивающий возможность коммутации оптических сигналов без их преобразования в электрический вид.

В качестве прототипа пассивного элемента используется микро-опто-электро-механическая система (*Micro-Opto-Mechanical Systems, MOEMS*), выполняющая сложные операции со световым лучом: полное отражение, дифракция, пространственная ориентация. Основным элементом в данном элементе служит зеркало (система зеркал), выполняющее отражение луча и его перенаправление за счет изменения своего положения в пространстве. Совместная работа нескольких зеркал приводит к возможности обеспечить вывод оптического луча на различные выходы, режим коммутации. Выполнение условий согласования выхода *MOEMS* и торца приемного световода обеспечивает фильтрацию [3]. Таким образом, формирование «атомных зеркал» в качестве коллимирующих элементов [4], управление их формой и расстоянием между атомами, а так же проводимостью приемных световодов, позволит реализовать элемент, выполняющий коммутацию оптического сигнала. При этом в качестве управляющего сигнала выступает дополнительный луч, формирующий дипольную ловушку для холодных атомов.

Вне зависимости от способа обработки оптических потоков, мощность, поступающая в нагрузку оптической решетки, состоящей из  $N$  световодов определяется суммой мощностей от каждого из световодов с учетом его весового коэффициента или другими словами – коэффициента

деления. В свою очередь, коэффициент деления определяется объективными условиями обработки, т.е. конструктивным решением самой облучающей решетки, местом ее установки и распределением комплексных коэффициентов возбуждения световодов – амплитудно-фазовым распределением с учетом коэффициентов связи между световодами, в том числе по типам волн (модам), как между световодами, так и в одиночном световоде.

Очевидно [5], распределение мощности на выходе сумматора группы элементов (световодов) оптической решетки, задействованной для выделения оптического потока заданной длины волны имеет вид:

$$F(\theta, \xi) = \sum_{n=1}^N W_n(\lambda, \theta, \xi), \quad \text{где} \quad W_n(\lambda, \theta, \xi) = \sum_{p=1}^N (1 - |\Gamma_p(\lambda, \theta, \xi)|^2); \quad (1)$$

$W_m(\lambda, \theta, \xi)$  – весовой коэффициент световода ( $n$ -го канала);  $\Gamma_p(\lambda, \theta, \xi)$  – коэффициент отражения  $p$ -го световода (элемента группы световодов) при формировании  $n$ -го пространственного направления, определяемого углами  $(\theta, \xi)$  сферической системы координат в зависимости от длины волны  $(\lambda)$  обрабатываемого оптического потока. В свою очередь, коэффициент отражения световода определяется через приведенную проводимость световода  $Y_{pmn}(\lambda, \theta, \xi)$  известным соотношением [6, 7]:

$$|\Gamma_{pmn}(\lambda, \theta, \xi)|^2 = \left| \frac{1 - Y_{pmn}(\lambda, \theta, \xi)}{1 + Y_{pmn}(\lambda, \theta, \xi)} \right|^2. \quad (2)$$

Приведенная проводимость одиночного световода  $Y_{pmn}(\lambda, \theta, \xi)$  выражается через амплитуды падающей  $A_{pmn}^h$  и отраженной  $B_{pmn}^h$  от его раскрытия волн обрабатываемого оптического потока [6, 8]:

$$Y_{pmn} = \frac{A_{pmn}^h - B_{pmn}^h}{A_{pmn}^h + B_{pmn}^h}. \quad (3)$$

Таким образом, для получения критерия алгоритма обработки оптических потоков с использованием оптической решетки необходимо получить соотношение, определяющее приведенную проводимость световода оптической решетки с учетом коэффициентов взаимной связи между ее элементами и типами волн в каждом из элементов и между ними.

Пренебрегая высшими модами (типами волн) на том основании, что вклад высших типов волн в проводимость оптического световода незначителен и составляет величины не более 2% по модулю и 1,6 % по фазе, как для одиночного световода, так и входящего в систему световодов, получим:

$$Y_{10} = \frac{(A_{101}^h - B_{101}^h)}{(A_{101}^h + B_{101}^h)} = \frac{1}{i 4 \gamma_{10} \delta_{10}^h a} \left[ \frac{\gamma_{10}^2 a}{\pi} C_{110110}^I - D_{110110}^I \right] + \frac{1}{i 4 \gamma_{10} \delta_{10}^h a (A_{101}^h + B_{101}^h)} \times \\ \times \sum_{p=2}^N (A_{10p}^h + B_{10p}^h) \left[ \frac{\gamma_{10}^2 a}{\pi} C_{110p10}^I - D_{110p10}^I \right]. \quad (4)$$

Для произвольного световода с номером  $p'$ , входящего в оптическую решетку из  $N$  световодов, соотношение (4) запишем в виде:

$$Y_{p'10} = \frac{1}{i 4 \gamma_{10} \delta_{10}^h a} \left[ \frac{\gamma_{10}^2 a}{\pi} C_{p'10p10}^I - D_{p'10p10}^I \right] + \frac{1}{i 4 \gamma_{10} \delta_{10}^h a (A_{10p'}^h + B_{10p'}^h)} \times$$

$$\times \sum_{p=1, (p \neq p')}^N (A_{10p}^h + B_{10p}^h) \left[ \frac{\gamma_{10}^2 a}{\pi} C_{p'10 p10}^I - D_{p'10 p10}^I \right]. \quad (5)$$

При идентичности исполнения оптических световодов и их расположения в системе – оптической решетке, а также распределения полей в световодах  $(\psi_{ax}^e \psi_{by}^h \psi_{ax'}^{e'} \psi_{by'}^{h'})$  для  $C_{p'10 p10}^I$  и  $(\psi_{by}^h \psi_{ax'}^{e'} \psi_{by'}^{h'})$  для  $D_{p'10 p10}^I$  из (5) получим:

$$Y_{p'10} = \frac{1}{i 4 \gamma_{10} \delta_{10}^h a} \left[ \frac{\gamma_{10}^2 a}{\pi} C_{p'10 p10}^I - D_{p'10 p10}^I \right] \left[ 1 + \frac{\sum_{p=1, (p \neq p')}^N (A_{10p}^h + B_{10p}^h)}{(A_{10p'}^h + B_{10p'}^h)} \right]. \quad (6)$$

Очевидно,  $Y_{p'10}$  определяется комплексным суммарным полем, наводимым в раскрытых световодах оптической решетки. Первый множитель (6) зависит от электрических размеров световода и является постоянным коэффициентом на фиксированной длине волны; второй зависит от структуры оптической решетки, ее геометрии и определяется коэффициентами взаимной связи между элементами для учитываемого типа волны; третий определяет реакцию световода на соотношение распределения амплитуд и фаз падающей и отраженной волн в остальных элементах оптической решетки.

В соотношении (5) единственным сомножителем, который может быть подвергнут вариативному изменению в процессе управления величиной мощности на выходе оптической решетки или группы ее элементов без механического изменения конструктивного исполнения, является третий – сомножитель, зависящий от соотношения комплексных амплитуд полей в элементах и определяемый амплитудно-фазовым распределением возбуждения оптической решетки с учетом коэффициентов взаимной связи между световодами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предложенный подход позволяет описать принцип коммутации на основе изменения проводимости приемных световодов определяемый амплитудно-фазовым распределением возбуждения оптической решетки. Устройство использующее данный принцип коммутации позволит выполнять перераспределение оптических потоков в высокоскоростных оптических сетях без выполнения преобразования оптический сигнал – электрический и обратное.

## Список литературы

1. Corzo, V. Большое брэгговское отражение от одномерных цепей захваченных атомов вблизи Наноразмерного волновода / Corzo Neil V., Baptiste Gouraud Ritsch // Physical review vol. 117, Iss. 13 – Published 23 september 2016
2. Horak, P. Quantum Description of light-pulse scattering on a single atom in waveguides / Peter Domokos, Peter Horak, Helmut Ritsch // Physical review A vol. 65, Iss. 3 – Published 1 march 2002
3. Архипов, С.Н. Алгоритм пространственной коммутации на основе модового взаимодействия в оптических устройствах коллимирующего типа / Архипов С.Н., Чистяков С.В., Безручко В.В. // Том 8, сборник научных трудов 8ой межведомственной конференции Академии ФСБ России, тезисы докладов-Москва 2014. с.12-21.
4. Arkhipov, S.N. Efficiency indices of spatial signal processing in mirror-type collimating systems / Arkhipov S.N., Ermishin G.A., Sakhonchik V.D. // Telecommunication and Radio Engineering volume 72, number 2. – New York (Connecticut), 2013. – pp. 125-138.
5. Воскресенский, Д.И. Автоматизированное проектирование антенн и устройств СВЧ. Учебное пособие для вузов / Воскресенский Д.И., Кременецкий С.Д., Гринев А.Ю., Котов Ю.В. – М.: Радио и связь, 1988. – 240с.
6. Семенов, А.А. Теория электромагнитных волн / Семенов А.А. – М.: Изд. МГУ, 1968. – 347 с.



7. Марков, Г.Т. Возбуждение электромагнитных волн / Марков Г.Т., Чаплин А. Ф. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1983. – 296 с.
8. Вольман, В.И. Техническая электродинамика / Вольман В.И., Пименов Ю.В. – М.: Связь, 1977. – 486 с.
9. Величко, В.В. Основы инфокоммуникационных технологий. Катунин Г.П., Шувалов В.П. / под редакцией профессора Шувалова В.П., учебное пособие для вузов, 2009. с. 361-419.
10. Губанова Л.А., Константинова Ю.А. Оптические технологии. Учебно-методическое пособие – СПб: Университет ИТМО, 2018. – 62 с.

### References

1. Corzo, V. Large Bragg Reflection from One-Dimensional Chains of Trapped Atoms Near a Nanoscale Waveguide / Corzo Neil V., Baptiste Gouraud Ritsch // Physical review vol. 117, Iss. 13 – Published 23 September 2016.
2. Horak, P. Quantum Description of light-pulse scattering on a single atom in waveguides / Peter Domokos, Peter Horak, Helmut Ritsch // Physical review A vol. 65, Iss. 3 – Published 1 march 2002.
3. Arhipov, S.N. The algorithm reaches the prostate on the basis of the mods interactions in optical collimating devices of the type/ Arkhipov S.N., Chistykov S.V., Bezruchko V.V. // Volume 8, the collected scientific papers of the 8th inter-departmental conference of the Academy of the FSB of Russia, abstracts of Moscow, 2013. – pp. 125-138.
4. Arkhipov, S. N. Efficiency indices of spatial signal processing in mirror-type collimating systems / Arkhipov S.N., Ermishin G.A., Sakhonchik V.D. // Telecommunication and Radio Engineering volume 72, number 2. – New York (Connecticut), 2013. – pp. 125-138.
5. Voskresenskiy, D.I. Computer-aided design of antennas and microwave devices. Textbook for high schools / Voskresenskiy D.I., Kremeneskiy C.D., Grinev A.U., Kotov U.V. - M.: Radio and communication, 1988.–240 p.
6. Semenov, A.A. The theory of electromagnetic waves / Semenov, A.A. – M.: Izd. Moscow State University, 1968. – 347 p.
7. Markov, G.T. Excitation of electromagnetic waves / Markov G.T, Chaplin A.F.– 2nd ed., pererab. I additional-M.: Radio and communication, 1983. – 296 p.
8. Volman, V.I. Technical electrodynamics / Volman V.I., Pimenov U.V. – M.: Communication, 1977. – 486 p.
9. Velichko, V.V. Basics of information and communication technologies., Velichko V.V., Katunin G.P., Shuvalov V.P., under the editorship of professor Shuvalov V.P., textbook for high schools, 2009. p. 361-419.
10. Gubanova L.A., Konstantinova U.A. Optical technology. Teaching aid-St. Petersburg: ITMO University, 2018. – 62 p.

**Архипов Сергей Николаевич**, кандидат технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

**Кузнецов Андрей Викторович**, кандидат технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

**Arhipov Sergei Nikolaevich**, candidate of technical sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation

**Kuznetsov Andrey Viktorovich**, candidate of technical sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation